

DOI: 10.22034/AS.2020.10999

## تأثیر فراوری حرارتی بر گوارش‌پذیری و ساختار میکروسکوپی دانه سورگوم

لیلا الله قلی<sup>۱</sup>، اکبر تقی‌زاده<sup>۲\*</sup>، علی حسین‌خانی<sup>۲</sup>، حمید پایا<sup>۲</sup> و یوسف مهمان نواز<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۱

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> به ترتیب استاد، دانشیار و استادیار گروه علوم دامی دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم دامی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

\* مسئول مکاتبه: Email: ataghius@yahoo.com

### چکیده

**زمینه مطالعاتی:** فراوری حرارتی دانه سورگوم باعث بهبود عملکرد آن در دستگاه گوارش می‌شود. هدف: این آزمایش به منظور تعیین تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام دانه سورگوم در شکمبه با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی و سپس بررسی تغییرات ایجاد شده در سطح نانو مولکولی نمونه دانه سورگوم انجام گرفت. روش کار: نمونه خوراکی (فراوری شده و خام) در زمانهای مختلف در شکمبه دو راس گوسفند دارای فیستولای شکمبه ای انکوبه شد. ساختمان نانو مولکولی تیمارها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی و تصاویر تهیه شد. داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. **نتایج:** فراوری به روش پرک با بخار باعث افزایش عددی تجزیه پذیری (PD) ماده خشک شد هر چند معنی دار نبود. تجزیه پذیری پروتئین خام در هر سه روش فراوری (پرک با بخار، تفت دادن و مایکروویو کردن) به طور معنی داری کاهش یافت. نتیجه گیری نهایی: تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی نشان داد که تعداد و اندازه‌ی سوراخ‌ها (با ابعاد نانو) در واحد سطح تیمارها با میزان تجزیه‌پذیری همبستگی بالایی دارد. تیمار پرک با بخار باعث ژلاتیناسیون بیشتری در گرانول‌های نشاسته شده است چرا که اندازه‌ی گرانول‌ها نسبت به تیمار کنترل و سایر تیمارها افزایش بیشتری داشته است که با نتایج آزمایشات هضمی که میزان تجزیه پذیری بیشتری را برای تیمار پرک با بخار نشان داده‌اند، مطابقت دارد. فراوری پرک با بخار ویژگیهای تجزیه پذیری بهتری را نسبت به سایر تیمارها نشان می‌دهد و مقادیر بیشتری از مواد مغذی را در اختیار میکرو ارگانیسم‌ها قرار می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** تجزیه پذیری، کیسه‌های نایلونی، فراوری حرارتی، میکروسکوپ الکترونی

### مقدمه

علیرغم قیمت پایین سورگوم نسبت به ذرت توسط دامداران کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو دلیل برای این امر وجود دارد، الف: خصوصیت خود دانه که ماتریکس پروتئینی دور گرانول‌های نشاسته را گرفته و باعث کاهش قابلیت هضم پروتئین و نشاسته شده. ب: تانن موجود در دانه سورگوم که به عنوان یک عامل ضد تغذیه‌ای با پروتئین در سطوح بالا و با کربوهیدرات

سورگوم (ذرت خوشه‌ای) بعد از گندم، برنج، جو و ذرت به عنوان پنجمین غله زراعی مهم در جهان شناخته شده است (ونگ و همکاران ۲۰۰۹). هرچند دانه‌ی سورگوم در مناطقی از آسیا و آفریقا مصارف انسانی دارد ولی عمدتاً برای مصارف دامی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تفت دادن شامل افزایش تقریباً ۲۰ درصدی در میزان RUP (افزایش از ۳۰ درصد به ۵۰ تا ۵۵ درصد)، سرعت زیاد برون ده محصول (۳ تا ۱۲ تن در ساعت)، قابل حمل و نقل بودن تجهیزات و عملی بودن در سطح مزرعه است.

تغییرات نانو مولکولی غلات در طی فرآوری و تجزیه پذیری در شکمبه را می‌توان با میکروسکوپ‌های الکترونی پیشرفته بررسی کرد. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) یک نوع از میکروسکوپ الکترونی است که بوسیله اسکن سطح با پرتویی متمرکز از الکترونها باعث ایجاد تصاویری از نمونه می‌شود. الکترون‌ها در تعامل با اتم‌های نمونه، اطلاعاتی در مورد توپوگرافی و ترکیبات سطح ارائه می‌دهد. میکروسکوپ الکترونی می‌تواند تصاویری با وضوح بهتر از ۱ نانو متر تولید کند (استکاس ۲۰۰۸). از میان روش‌های موجود، روش کیسه‌های نایلونی بعنوان روشی استاندارد برای تعیین میزان پروتئین هضم شده طی تخمیر شکمبه ای می‌باشد (کان و همکاران ۲۰۰۲). هدف از این آزمایش، بررسی تاثیر فرآوری دانه سورگوم خام با استفاده از روش‌های پرک کردن با بخار، تفت دادن و میکروویو بر تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام دانه‌ی سورگوم و همچنین تغییرات ایجاد شده در سطح نانو مولکولی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بود.

### مواد و روش‌ها

#### خوراک و محل آزمایش

دانه‌ی سورگوم (*Sorghum bicolor monench*) مورد استفاده در این طرح از بخش یامچی شهرستان مرند (آب و هوای سرد و خشک با میزان تانن متوسط دانه سورگوم) تهیه گردید. اجرای مراحل مختلف مزرعه‌ای آزمایشگاهی در واحد گو سفند داری ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی خلعت پوشان دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد.

و مینرال‌ها در سطوح پایین تر پیوند های محکمی را تولید می‌نمایند که در مقابل آنزیم‌های هضمی مقاوم است به دلیل هضم ناقص نشاسته، غلات برای افزایش میزان ژلاتینه شدن و به تناوب آن افزایش قابلیت هضم باید مورد فرآوری قرار گیرند (بدور و همکاران ۲۰۱۴). فرآوری با تاثیر بر ساختار نانو مولکولی دانه باعث تغییراتی در راستای افزایش هضم آن می‌شود. فرآوری دانه سورگوم به همراه بخار، نقش زیادی در کاهش محدودیت های تغذیه‌ای آن دارد (تئورر و همکاران ۱۹۹۹) و در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است که باعث کاهش میزان تانن و ترکیبات فنلی در دانه، همچنین منجر به افزایش قابلیت هضم نشاسته بطور عمده بوا سطره کاهش اندازه ذرات، ژلاتینا سیون و از هم گسیختن شبکه پروتئینی اطراف گرانول‌های نشاسته، می‌گردد. کاهش اندازه ذرات منجر به افزایش قابلیت دسترسی نشاسته به میکروبیهای شکمبه و همچنین آنزیم‌های هاضمه می‌گردد. بیشترین اثر فرآوری حرارتی مربوط به کاهش مقاومت نشاسته در برابر گوارش است، به نحوی که با گسستن پیوندهای عرضی پروتئین‌ها، گرانول‌های نشاسته‌ای محصور در ماتریکس پروتئینی ژلاتینی شده، با سهولت بیشتری در اختیار میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های هاضم مترشح از منابع میکروبی و حیوانی قرار می‌گیرند (تئورر و همکاران ۱۹۹۹ و ون سوست ۱۹۹۴).

فرآوری‌های پرک کردن با بخار، تفت دادن و میکروویو کردن، اکستروود کرد، غلطک کردن در غلات صورت می‌گیرد. عمل‌آوری خوراک با مایکروویو اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (شورنگ و همکاران ۱۳۹۶). مایکروویو کردن دانه‌ها با کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای مثل بازدارنده‌های تریپسین، فیتات، تانن و لکتین قابلیت دسترسی پروتئین و مینرال‌ها را برای دام افزایش می‌دهد (حبیب، ۲۰۰۲). عمل‌آوری مایکروویو، تغییرات شدیدی در ساختار گرانول‌های نشاسته ایجاد کرده به طوری که بعد از پرتوتابی، درجه کریستالینه شدن نشاسته کاهش می‌یابد. هرچه محتوای آمیلوز خوراک بیشتر باشد در برابر عمل‌آوری مایکروویو پاسخ بهتری می‌دهد (لواندویکز و همکاران، ۲۰۰۰). مزایای

### فرآوری دانه ها

در این تحقیق دانه‌ی سورگوم به سه روش فرآوری شد. دانه‌ی سورگوم پرک شده که قبل از آن به مدت ۱۰ دقیقه بخار داده شد و با استفاده از غلطک موجود در ایستگاه خلعت پوشان به صورت پرک درآورده شدند. دانه‌ی سورگوم میکروویو شده که در دستگاه میکروویو ۸۰۰ وات (مدل National) به مدت ۵ دقیقه پرتو تابی شد. در روش سوم دانه ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه (Titan) Roasting (۳۴۳۳ watt ۱۳-۶۳ Hz ۲۲۳ volt EF-۶۳۳۳CE) تفت داده شدند.

### آزمایش‌های تجزیه پذیری شکمبه

جهت تعیین تجزیه پذیری شکمبه ای از ۲ راس گوسفند کوچ فیستوله گذاری شده دو ساله گونه های قزل و مرینوس + آرخار با وزن  $46 \pm 5$  استفاده شد. گوسفندها به مدت ۲ ماه پس از جراحی مورد مراقبت قرار گرفته شد تا شرایط فیزیولوژیکی طبیعی خود را بدست آورد و هر یک از این گوسفند ها در باکس انفرادی نگه داری می شدند.

جهت تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای با تکنیک کیسه‌های نایلونی از دو راس گوسفند استفاده شد. این دامها جهت نصب فیستوله مورد عمل جراحی قرار گرفتند. گوسفندان به مدت دو ماه پس از جراحی مراقبت شدند تا شرایط فیزیولوژیکی مورد نظر را بدست آورند. هر یک از این گوسفندها در باکس انفرادی قرار گرفته و در طی مراقبت جیره غذایی در حد نگهداری و طبق پیش‌نهاد (NRC ۲۰۰۱) حاوی علوفه و کنسانتره به نسبت ۶۰:۴۰، دو بار در روز بطوری که قادر به تامین احتیاجات نگهداری باشد. برای تهیه کیسه‌ها، مواد خوراکی با آسیاب حاوی غربال ۲ میلی‌متری آسیاب گشته و به مقدار ۵ گرم در کیسه‌هایی از جنس الیاف مصنوعی، به ابعاد  $12 \times 6$  سانتی‌متر مربع قرار داده می‌شود. برای هر تیمار در هر ساعت ۴ تکرار تهیه شد به طوری که برای هر ساعت انکوباسیون، درون شکمبه هر گوسفند ۲ کیسه قرار داده شد. پس از زمانهای ۰، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ ساعت انکوباسیون درون شکمبه از آن خارج و جهت

جلوگیری از فعالیت میکروبی بلافاصله با آب سرد شسته تا آنجا که آب خروجی از کیسه ها کاملا زلال و شفاف شود، ادامه یافت. کیسه های شسته شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند. کیسه ها بعد از خروج از آون توزین شدند (ون زانت و همکاران ۱۹۹۸).

### آنالیز شیمیایی

میزان ماده‌ی خشک، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده‌ی خنثی و اسیدی، چربی خام و خاکستر خام طبق روش‌های (AOAC ۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد. مقدار تانن وکل ترکیبات فنلی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری شد (ماکار ۱۹۹۶).

فراسنجه های تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام ، با استفاده از برنامه رایانه ای نیوی (Neway) انجام گرفت. داده های حاصل در یک طرح کاملا تصادفی با ۴ تیمار (دانه سورگوم خام، پرک شده با بخار، تفت داده شده و میکروویو شده) و ۳ تکرار با ازای هر تیمار، و با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شد. میزان مواد ناپدید شده در هر زمان با معادله زیر بدست آمد:

$D = a + b(1 - e^{-ct})$  که D سرعت ناپدید شدن، a درصد مواد محلولی که سریعا از کیسه ها خارج می شود، b درصد موادی که قابلیت تجزیه پذیری بالقوه دارند، و c سرعت هضم بخش b است.

### تصاویر میکروسکوپی

جهت تهیه تصاویر میکروسکوپی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Field Emission Tescan mirca 3) واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز استفاده شد. قبل از تصویربرداری نمونه توسط دستگاه نیاز به آماده‌سازی نمونه است که بسته به جنس، سختی، اندازه، کیفیت سطح و مانند آنها متغیر است. مقدار اندکی از نمونه‌های آسیاب شده بر روی پیچ‌های کوچکی که حاوی قسمت چسبنده می‌باشند، چسبیده و سپس در قسمت مخصوص گذاشته می‌شود. نمونه‌ها باید عاری از آب باشند چرا که آب در خلاء تبخیر می‌شود سپس بوسیله یک لایه نازک رسانا پوشانده می‌شود. این کار به کمک ابزاری به نام پوشش

## نتایج و بحث

### تجزیه شیمیایی

غلظت ماده‌ی خشک، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده‌ی خنثی و اسیدی، چربی خام و خاکستر خام طبق روش‌های (AOAC ۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد. مقدار تانن و کل ترکیبات فنلی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد (ماکار ۱۹۹۶).

دهنده انجام شد و برای این منظور از میدان الکتریکی و گاز آرگون استفاده می‌شود به طوری که نمونه در یک محفظه‌ی خلاء قرار داده می‌شود و گاز آرگون و میدان مغناطیسی سبب جدا شدن الکترون از آرگون و مثبت شدن بار الکتریکی اتم‌ها می‌شوند (گودهیو و همکاران ۲۰۰۰).

Table 1- The chemical composition of processed and unprocessed sorghum grains

Nutrient	Control	Steam flaked	Roasted	Microwaved	SEM
DM	93.5 <sup>bc</sup>	90.1 <sup>c</sup>	96.5 <sup>ab</sup>	97.3 <sup>a</sup>	0.92
CP	12.32	12.56	12.93	13.1	0.19
NDF	22.63 <sup>b</sup>	18.5 <sup>b</sup>	39.76 <sup>a</sup>	37.56 <sup>a</sup>	2.91
ADF	17.9 <sup>b</sup>	1.66 <sup>b</sup>	41.33 <sup>a</sup>	38.33 <sup>a</sup>	3.31
Ash	2 <sup>a</sup>	1.5 <sup>b</sup>	0.8 <sup>ab</sup>	2 <sup>a</sup>	0.24
TP	2.57 <sup>a</sup>	1.97 <sup>b</sup>	2.05 <sup>b</sup>	1.89 <sup>b</sup>	0.1

Means within the same row with different letters differ significantly ( $P < 0.05$ ).

کاهش یافته است. لواندوویکس و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که پرتو تابی میکروویو می‌تواند در برخی موارد، منجر به افت حلالیت نشاسته گردد چرا که دامی بالای ژلاتیناسیون در نشاسته‌هایی که با میکروویو پرتو تابی می‌شوند، می‌تواند نمایانگر یک نوع پیوستگی و پیکربندی مقاوم و پایدار در ساختار گرانولی آن باشد. مقدار کم تجزیه‌پذیری دانه سورگوم خام در ساعت ۴۸ (۵۷/۵۲) درصد نسبت به ۷۶/۹۶ درصد) نسبت به آزمایش پرنیان (۱۳۸۷) می‌تواند بدلیل بالا بودن میزان تانن دانه سورگوم در این آزمایش باشد (۲/۵۷ نسبت به ۲/۳۴). آذرفر (۱۳۷۵) نشان داد که با افزایش میزان تانن در واریته‌های سورگوم دانه‌ای، تجزیه‌پذیری ماده خشک کاهش یافته است به نحوی که در تمام زمان‌های انکوباسیون در شکمبه، سورگوم دانه‌ای پرتانن کمترین میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک را داشت (به ترتیب میزان تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک برای سورگوم کم تانن، سورگوم با تانن متوسط و سورگوم با تانن بالا ۶۵/۴، ۶۰/۴، ۴۵/۹ درصد بود). تانن‌ها می‌توانند فعالیت باکتری‌های شکمبه و برخی از آنزیم‌های هضمی را مهار کنند. مهار فعالیت آنزیم‌های هضمی بدلیل ظرفیت بالای تانن‌ها در ترکیب با

تجزیه‌پذیری ماده خشک در روش کیسه‌های نایلونی میزان تجزیه‌پذیری دانه سورگوم خام و فرآوری شده در جدول ۲ گزارش شده است. در همه تیمارهای آزمایشی روند افزایشی در تجزیه‌پذیری مشاهده می‌شود هر چند این افزایش به دلیل تجزیه‌پذیری کم دانه سورگوم نسبت به سایر غلات به دلیل دارا بودن ترکیبات سمی، در ساعات اولیه کند است.

در آزمایشات انجام شده به روش کیسه‌های نایلونی مشخص شده است که تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک سورگوم دانه‌ای در شکمبه ۳۴ درصد بود و مشخص شد که سورگوم دانه‌ای کمترین تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک را در بین پنج غله مهم در شکمبه دارند (هریرا سالندا و همکاران ۱۹۹۰).

در این آزمایش سورگوم ورقه شده با بخار بیشترین تجزیه‌پذیری را در ساعت ۴۸ دارا بود هر چند تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت ( $P < 0.05$ ). پرنیان (۱۳۸۷) میزان تجزیه‌پذیری دانه سورگوم خام و دانه سورگوم میکروویو شده به مدت ۵ دقیقه در زمان ۴۸ ساعت را به ترتیب ۷۶/۹ و ۷۲/۹ درصد بیان کرد که در این آزمایش به ترتیب برابر با ۵۷/۵۲ و ۵۴/۹۲ بود، که در هر دو آزمایش این مقدار با فرآوری میکروویو

پروتئینی، سورگوم نیز می‌تواند همانند جو بسهولت در شکمبه تجزیه شود. با توجه به این که دانه‌های سورگوم ورقه شده با بخار، طی مراحل فرآوری تا ۱۸-۲۰ درصد وزن خود آب جذب می‌کنند، با مکش هوا در سیستم فرآوری، میزان رطوبت آنها به حالت عادی بر می‌گردد.

آنزیم‌های پروتئینی است. در نتایج آذر فر، (۱۳۷۵) پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه مشاهده گردید که میزان تجزیه پذیری ماده خشک جو و واریته‌های سورگوم دانه‌ای کم تانن و باتانن متوسط با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند، از این امر می‌توان نتیجه گرفت که با از بین رفتن موانع فیزیکی نظیر ماتریکس

Table 2- Effect of processing on ruminal digestibility of sorghum grains' dry matter by *in situ* technique

Hours	Control	Steam flaked	Roasted	Microwaved	SEM
0	9.62b	13.48b	8.94b	6.64b	1.12
2	13.04	15.78	12.79	17.04	2.09
4	18.71	16.22	13.94	17.18	2.01
8	25.37a	17.79b	17.76b	16.42b	1.77
12	30.47ab	36.73a	31.16ab	23.1b	2.77
24	50.18	45.29	42.91	42.38	2.52
36	56.95	58.29	46.42	48.56	5.8
48	57.52	60.73	57.96	54.92	2.56

Means within the same row with different letters differ significantly ( $P < 0.05$ )

(۱۳۸۲) و پرنیان (۱۳۸۷) بود. در نتایج اسدی (۱۳۷۹) میزان ماده‌ی خشک محلول برای ۳۶ رقم دانه‌ی سورگوم دامنه‌ای بین ۲۰/۴۲ تا ۴۰/۹۱ درصد نشان داد. پرک کردن با بخار میزان ماده خشک محلول را به ۱۲/۲۱ افزایش داد. واندولی و همکاران (۱۹۹۶) بیشترین اثر فرایند همراه با بخار را در افزایش بخش محلول دانه‌ی سورگوم گزارش کردند (دو برابر). ورقه‌های کامل سورگوم نسبت به ورقه‌های آسیاب شده، ماده خشک محلول کمتری دارند که می‌تواند به علت بیشتر بودن اندازه‌ی ذرات، کاهش سطح تماس باکتریها و کندی خروج محصولات نهایی تخمیر از کیسه‌های نایلونی باشد. در پرک کردن سورگوم با بخار میزان تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه نسبت به سورگوم غلطک شده بالاست. منبع با هضم نشاسته بالا میزان پروتئین میکروبی را افزایش می‌دهد و جریان آن به سمت دئودنوم در گاوهای شیری و گاوهای افزایش می‌دهد.

نیکخواه و همکاران (۱۳۸۲) میزان ماده‌ی خشک محلول دانه‌های جو آسیاب شده، سورگوم آسیاب شده، سورگوم ورقه شده با بخار (آسیاب شده) و ورقه‌های کامل سورگوم را به ترتیب برابر با ۱۴/۲۲، ۱۴/۲۳، ۲۳/۹۶، ۱۷/۶۶ درصد گزارش کردند که از نظر آماری تفاوت معنی داری بین تیمارها وجود داشت. در نتایج نیکخواه و همکاران (۱۳۸۲) فرآوری دانه‌ی سورگوم جارویی به همراه بخار، تأثیر چشم‌گیری در افزایش بخش محلول دانه نشان داد، بطوری که بخش محلول ماده خشک در سورگوم ورقه شده (آسیاب شده) نسبت به دانه‌های آسیاب شده جو سورگوم تا ۷۰ درصد افزایش یافت که نتایج تحقیق حاضر نیز موید آن است. میزان ماده خشک محلول (بخش a) در این آزمایش برای دانه سورگوم بدون فرآوری برابر با ۸/۴۰ بود که کمتر از نتایج اسدی (۱۳۷۹) و نیکخواه

Table3- Degradability parameters of processed and unprocessed sorghum grains' dry matter

Parameters	Control	Steam flaked	Roasted	Microwaved
a	8.37	10.74	8.13	9.10
b	57.27	62.77	62.66	70.25
c	0.047	0.033	0.03	0.022

a, rapidly degraded fraction; b, slowly degraded fraction; c, rate of degradation

## تجزیه پذیری پروتئین خام به روش کیسه های نایلونی

نتایج این تحقیق نشان داد که همه روش‌های فرآوری مورد استفاده در این آزمایش تجزیه‌پذیری پروتئین خام در شکمبه را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات گذشته نیز این نتایج را تصدیق می‌کنند. (پرنیان ۱۳۸۷، نیکخواه و همکاران ۱۳۸۲ و هاماکر و همکاران ۱۹۸۷). تقی‌زاده و نعمتی (۲۰۰۸) اثرات دماهای مختلف (۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) و اتوکلاو در زمان‌های متعدد (۵ و ۲۰ دقیقه) را بر روی دانه جو بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عمل آوری حرارتی دانه جو، میزان تجزیه پذیری پروتئین خام دانه جو را کاهش و میزان عبور پروتئین خام آن را به مکان‌های هضمی پایین‌تر افزایش می‌دهد. فرآیند حرارتی از طریق واسرشت کردن پروتئین و ایجاد پیوندهای پروتئین-پروتئین و پروتئین-کربوهیدرات (واکنش میلارد) تجزیه پروتئین در شکمبه را کاهش می‌دهد (انانیموس ۲۰۰۱). در نتایج هاماکر و همکاران (۱۹۸۷) از پنج دانه غله تست شده (سورگوم، ذرت، برنج، جو، گندم) دانه سورگوم دارای کمترین قابلیت هضم پروتئین بود. دانه سورگوم و دانه ذرت به صورت خام حدود ۱۰ درصد هضم پروتئین کمتری نسبت به جو، برنج یا گندم داشتند. درحالی که وقتی دانه‌ها پخته شدند تنها سورگوم بود که کاهش هضم قابل ملاحظه‌ای (۲۴ درصد) را نشان داد. در واقع قابلیت هضم پروتئین سورگوم پخته شده به طور معنی‌داری کمتر از سایر غلات بود که با نتایج مرتز و همکاران (۱۹۸۴) موافقت داشت. بازآرایی یا تشکیل اکسیداتیو پیوندهای دی‌سولفیدی در طول فرآیند پختن احتمالاً نقش مؤثری در ایجاد پروتئین با قابلیت هضم اندک در سورگوم فرآوری شده ایفا می‌کند. ثابت شده است که کافیرین پروتئین‌ها بعد از پخت هضم‌شان کاهش می‌یابد (هاماکرو همکاران ۱۹۸۷ و کنادسون و مانچ ۱۹۸۵). این نشان می‌دهد که تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی ترجیحاً روی هضم کافیرین‌ها تاثیر می‌گذارند. قابلیت هضم اندک پروتئین ممکن است به دلیل عدم دسترسی اجسام پروتئینی به آنزیم‌های هضمی باشد. اجسام

پروتئینی ساختارهای بسیار سازمان یافته‌ای در آندوسپرم سورگوم دارند و دارای کافیرین هستند. بوسیله ی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، معلوم شده است که اجسام پروتئینی پس از پخته شدن و هضم توسط پیپسین دست نخورده باقی می‌مانند. اعمال حرارت در برخی از مواد پروتئینی سبب مقاومت بیشتر و کاهش هضم گردد که این می‌تواند به علت تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی احاطه کننده اجسام پروتئینی باشد. دندی و همکاران (۱۹۹۵) نیز نتیجه گرفتند که پختن سورگوم مخصوصاً پخت مرطوب باعث کاهش قابلیت هضم آن می‌شود. این حالت پختن سبب می‌شود قابلیت دسترسی حیوان به ماده مغذی کاهش یابد. پختن به اثر متقابل کافیرین‌ها با ترکیبات مختلف پلی‌فنل‌ها و دیواره سلولی موجود در دانه کمک می‌کند (دئودو و همکاران ۲۰۰۲). پختن سورگوم موجب کاهش آلومین، گلوبولین و کافیرین‌ها می‌شود. این مسئله در مورد زئین نیز وجود دارد زیرا زئین قابلیت هضم بالای ۹۹ درصد را در آزمایشگاه دارد، وقتی در آب جوش و فشار قرار می‌گیرد و پخته می‌شود قابلیت هضم آن به ۹۴ و ۹۵ درصد کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش را در تغییر ساختار پروتئین‌ها می‌دانند که به علت ایجاد شدن پیوندهای دی‌سولفیدی می‌باشد (دندی ۱۹۹۵) که منجر به تغییر شکل آلفا هلیکس به صفحات بتا می‌شود (دئودو و همکاران ۲۰۰۲). پلی‌مرها و صفحات بتا می‌توانند ساختار پروتئین را در برای عدم توانایی پروتئولیتیکی برای انجام عمل هضم ایجاد کنند، اما پختن تحت فشار، قابلیت هضمی بالاتر پروتئین را نسبت به پخت مرطوب نشان می‌دهد، دلیل این امر به شکل‌گیری کمتر صفحات بتا مربوط می‌شود (چاشی و همکاران ۲۰۰۷). نوع آندوسپرم، پروتئین‌های موجود در آندوسپرم و پریکارپ دانه نیز از عوامل موثر درحالات ماده‌ی خشک و پروتئین دانه‌های غلات محسوب می‌شود. در نتایج نیکخواه و همکاران (۱۳۸۲) پروتئین محلول دانه‌های جو آسیاب شده، سورگوم آسیاب شده و سورگوم ورقه شده با بخار (آسیاب شده) و ورقه‌های کامل به ترتیب برابر با ۱۷/۸، ۱۰/۰۲، ۴/۷۱ و ۲/۷۴ بود، که تفاوت بسیار معنی‌داری میان دانه

دانه‌های ذرت و سورگوم، پروتئین محلول دانه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، کاهش چگالی ورقه‌ها موجب کاهش دسترسی اسیدآمین لایزین می‌شود.

ها وجود داشت. در این آزمایش فرآوری دانه سورگوم با بخار، مقدار پروتئین محلول را کاهش داد. پرستون (۱۹۹۸) گزارش داد که طی مراحل فرآوری، بخار دادن

**Table 4- Effect of processing on ruminal digestibility of crude protein of sorghum grain by *in situ* technique**

Hours	Control	Steam flaked	Roasted	Microwaved	SEM
0	8.1a	5.5b	5.28b	6.67ab	0.52
2	12.88a	7.58b	7.77b	6.77b	0.52
4	19.34a	9.39b	10.56c	13.14b	0.64
8	25.78a	19.18b	20.49b	21.39b	0.84
12	33.98a	24.32c	26.52b	27.12b	0.65
24	55.78a	38.47b	33.04c	37.21b	1.13
36	65.3a	57.45b	51.12d	54.16c	0.87
48	70.23a	64.03b	63.27b	62.16b	1.11

Means within the same row with different letters differ significantly ( $P < 0.05$ )

فرآوری، بخار دادن دانه‌های ذرت و سورگوم، پروتئین محلول دانه‌ها را کاهش می‌دهد. تجزیه پذیری کند دانه‌های سورگوم نسبت به جو بدلیل ایجاد قالب‌های پیوسته پروتئینی در دانه سورگوم می‌باشد، که با داشتن مقادیر فراوانی اسیدآمین سیستئین، موجب برقراری پیوندهای عرضی دی سولفیدی می‌گردد که این پیوندهای متقاطع ساختار اندوسپرم را مقاوم می‌کنند (هررا سالندا، ۱۹۹۰). برای افزایش قابلیت دسترسی به پروتئین‌های ذرت و سورگوم در شکمبه، زمان بیشتری مورد نیاز است، در نتیجه با افزایش ماده آلی تجزیه‌پذیر در دانه‌های ورقه شده، میکروب‌ها فرصت کافی می‌یابند تا از نیتروژن موجود با کارایی بیشتری استفاده کنند. بنابراین هدر رفتن نیتروژن آمونیاکی، که حاصل تجزیه‌پذیری بیشتر نیتروژن در جیره است، کاهش می‌یابد (تئور و همکاران، ۱۹۹۹).

#### فراسنجه‌های تجزیه پذیری پروتئین خام

فرآوری باعث کاهش بخش محلول پروتئین خام دانه سورگوم شده است و قسمت b نیز افزایش یافته است. در نتایج پرنیان (۱۳۸۷) نیز پرتوتابی میکروویو باعث کاهش قسمت a و افزایش قسمت b شد. در این تحقیق مقادیر بخش محلول پروتئین خام برای دانه سورگوم خام و پرک شده با بخار به ترتیب برابر با ۷/۴۲ و ۳/۶۶ بود. نتایج نیکخواه و همکاران (۱۳۸۲) مطابق با نتایج این تحقیق بود که میزان پروتئین محلول را برای دانه‌های سورگوم خام، سورگوم جارویی پرک شده با بخار آب (آسیاب شده) و ورقه‌های کامل سورگوم به ترتیب برابر با ۴/۱۰، ۷۱/۰۲ و ۲/۷۴ و میزان پروتئین نامحلول قابل تجزیه را به ترتیب برابر با ۷۱/۷۹، ۸۶/۹۴ و ۸۷/۰۹ بیان کردند. پرستون (۱۹۹۸) در پژوهشی اعلام کرد که طی

**Table 5-Degradability parameters of crude protein of processed and unprocessed sorghum grains**

Parameters	Control	Steam flaked	Roasted	Microwaved
a	7.37	4.23	3.66	5.92
b	75.83	96.61	96.34	91.91
c	0.038	0.016	0.02	0.019

a, rapidly degraded fraction; b, slowly degraded fraction; c, rate of degradation

تصاویر میکروسکوپی برای دانه سورگوم خام نشان می‌دهد که آسیاب کردن باعث شکسته شدن گرانول‌ها شده و شکل کروی خود را از دست داده‌اند. هر سه تیمار

تأثیر فرآوری بر ساختار میکروسکوپی دانه سورگوم (اندازه گرانول‌ها)

می‌کند که خصوصیات مطلوب چسبندگی برای نشاسته ایجاد کرده و باعث بهبود دسترسی آنزیم آمیلاز به آمیلوز و پیوندهای آمیلو پکتین و گلوکز می‌شود و بخاطر تخریب و از بین رفتن نواحی کریستالین گرانول-های نشاسته باعث بهبود هضم خوراک می‌شود (اسویهوس و همکاران ۲۰۰۵). همان‌طور که در نتایج آزمایشات هضمی تیمار پرک‌کردن با بخار دارای بیشترین تجزیه‌پذیری است در این تصاویر نیز مشاهده می‌شود که این تیمار دارای تخریب پروتئینی بیشتری بوده و در نتیجه باکتری‌های تجزیه‌کننده دسترسی بیشتری به نشاسته خواهند داشت و میزان هضم بالا خواهد بود.

نشان می‌دهد که فرآوری باعث تخریب ماتریکس پروتئینی که اطراف گرانولهای نشاسته را گرفته‌اند، می‌شود (در شکل ۳ ماتریکس پروتئینی که بصورت ذوب شده روی گرانول نشاسته است قابل تشخیص است) و بدین ترتیب باعث افزایش دسترسی آنزیم‌ها به گرانول-های نشاسته شده و قابلیت هضم را افزایش می‌دهد. در فرآوری پرک کردن با بخار مشاهده می‌شود که سطح گرانولها بیشتر از تیمارهای دیگر در معرض حمله میکروارگانیسم‌ها بوده و ماتریکس پروتئینی در این تیمار بیشتر تخریب شده است. همچنین فرآوری حرارتی در هر سه تیمار باعث ژلاتیناسیون نشاسته و افزایش میانگین اندازه‌ی گرانولها شده است. میانگین اندازه‌ی گرانولها در تیمار پرک کردن با بخار بیشتر از تیمارهای دیگر بود. فرایند ژلاتینه شدن نشاسته ایجاد یک حالت

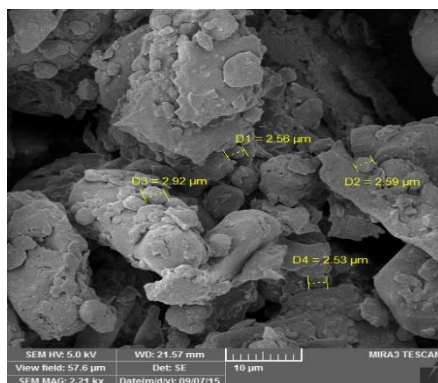


Figure 1- Grinded sorghum grain

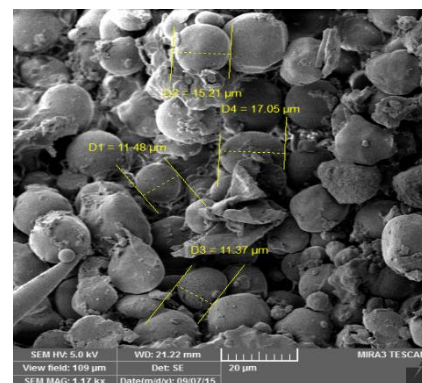


Figure2- Steam flaked sorghum grain

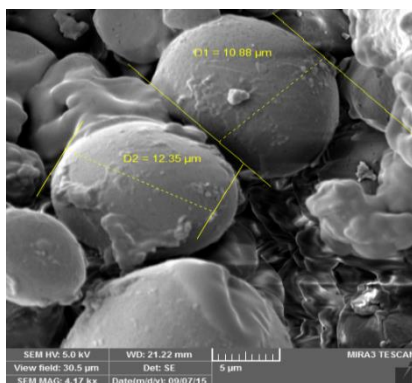


Figure3- Microwaved sorghum grain

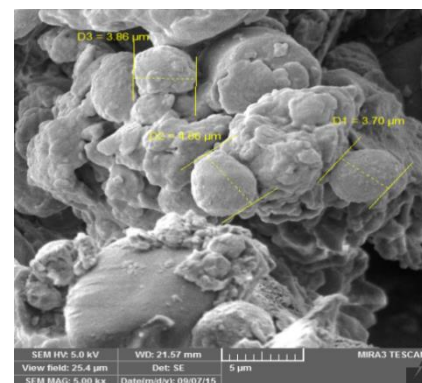


Figure4- Roasted sorghum grain

علی‌رغم تجزیه‌پذیری بالای دانه سورگوم پرک شده با بخار در آزمایش کیسه‌های نایلونی نسبت به سایر

تصاویر میکروسکوپی بعد از ۴۸ ساعت انکوباسیون



فرآوری‌ها، در تصاویر گرفته شده اندازه سوراخ‌های ایجاد شده در تیمارهای کنترل، تفت و مایکروویو نسبت به تیمار پرک با بخار بزرگتر می‌باشند (شکل ۴).

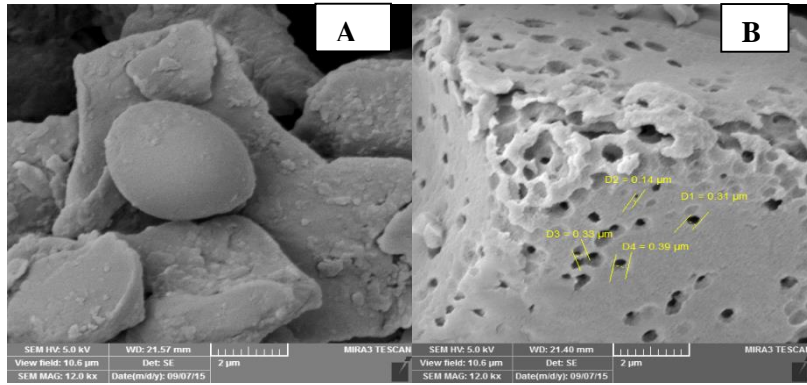


Figure5- Unprocessed sorghum grain befor (A) and after (B) incubation

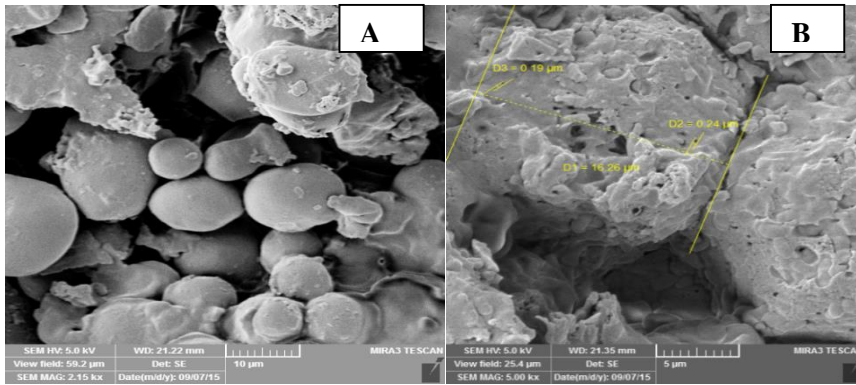


Figure6- Steam flaked sorghum befor (A) and after (B) incubation

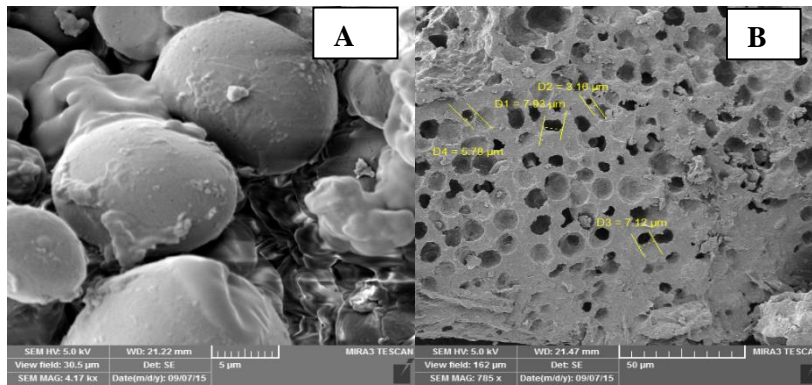


Figure7- Microwaved sorghum grain befor (A) and after (B) incubation

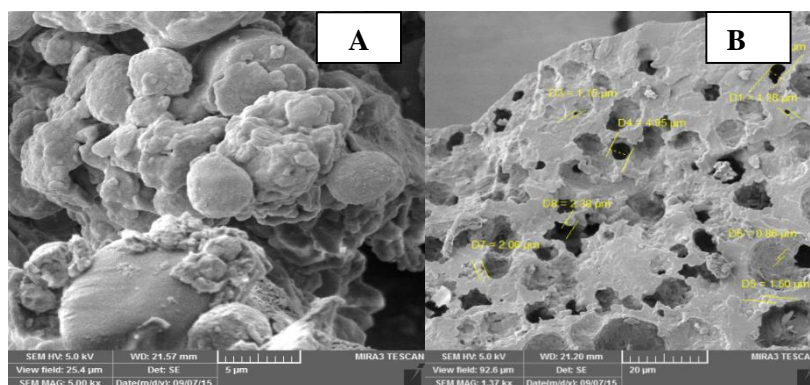


Figure 8- Roasting sorghum grain before (A) and after (B) incubation.

حفظ می‌کنند، در حالی که دانه‌های جو و سورگوم در فرایند اکستروژن کردن یکپارچگی گرانول‌ها با ایجاد تورم و نوب گرانول‌ها از بین می‌رود. در این آزمایش به نظر می‌رسد علیرغم تعداد کم حفره‌ها و یا اندازه کوچکتر آن‌ها در تیمار پرک شده با بخار در مقایسه با سایر تیمارها، تصاویر میکروسکوپی از تیمار پرک بعد از انکوباسیون به گونه‌ای متفاوت از سایر تیمارها بوده و به نظر می‌رسد گرانول به طور کامل تحت تاثیر فرآوری قرار گرفته و یکنواختی خود را از دست داده و در اثر فرآوری نوب شده است، که این می‌تواند توجیهی برای تجزیه پذیری بیشتر آن نسبت به سایر تیمارها باشد. همچنین در تصاویر گرفته شده از سه تیمار دیگر (تفت، مایکروویو و خام) میکروارگانیسم‌ها به طور کامل نتوانسته‌اند در گرانول حفره ایجاد کنند و به صورت سطحی سوراخ ایجاد کرده‌اند. در تصاویر تیمار پرک نیز ماتریکس پروتئینی تخریب شده به گونه‌ای سطح سوراخ‌های ایجاد شده را پوشش داده‌اند که قابل مشاهده نیست.

شیرمحمدی (۱۳۹۳) با بررسی اندازه‌ی قطره‌های نشاسته و اندازه حفره‌های ایجاد شده در ۱۲ ساعت انکوباسیون شکمبه‌ای، گزارش کرد که نسبت حفره‌های ایجاد شده در گرانول‌ها به اندازه گرانول‌های نشاسته، در دانه‌ی جو بدون فرآوری دارای بیشترین نسبت است که از لحاظ تجزیه پذیری نیز بیشترین مقدار تولید گاز و تجزیه پذیری را در ۱۲ ساعت انکوباسیون در روش‌های تولید گاز و روش کیه‌های نایلونی نشان می‌دهد. این محقق همچنین کمترین میزان تولید گاز و تجزیه پذیری را در جو پرک شده با بخار گزارش کرد که با نتایج تحقیق حاضر مغایر می‌باشد. تعداد سوراخ‌های ایجاد شده نیز می‌تواند توضیحی برای میزان تجزیه پذیری باشد. بن موسی و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که تعداد و اندازه کانالها در دانه تجزیه شده‌ی غلات یک تاثیر مثبت روی ویژگی‌های هضمی دارند. بدور و همکاران (۲۰۱۴) از تصاویر میکروسکوپی بدست آمده از دانه سورگوم و جو نتیجه گرفتند که گرانول‌های هر دو نوع دانه پس از فرآیند پلت کردن یکپارچگی خود را

Table 6- Comparison of orifice diameters to starch granules diameter of processed and unprocessed sorghum grains ( $\mu\text{m}$ )

Feed	Average of starch granules diameter in zero time	Average of orifices diameter in 48 h of incubation	The orifices diameter to granules diameter	Number of orifices in unit
Control	2.59	0.35	0.14	65
Steam flaked	13.78	0.21	0.01	34
Roasted	3.71	1.92	0.51	30
Microwaved	11.69	5.87	0.5	60

### نتیجه گیری کلی

بررسی هضم خوراک در سطح نانو مولکولی بوسیله میکروسکوپ‌های پیشرفته الکترونی می‌تواند مسیری نو در تعیین ماهیت خوراک قبل و بعد از هضم باشد. فرآوری غلات به طور مؤثری باعث تغییر در ساختار می‌شود و قابلیت هضم را تغییر می‌دهد. در این تحقیق فرآوری پرک کردن همراه با بخار آب، بیشترین تأثیر را در بین فرآوری‌ها داشت. روش عمل‌آوری با امواج میکروویو در مقایسه با سایر روش‌های معمول حرارت‌دهی، آسیب حرارتی کمتری به ماده آزمایشی وارد می‌کند و انرژی پاک و قابل‌کنترلی می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی گرفته شده از دانه‌های فرآوری شده و هضم شده در شکمبه نشان داد که از لحاظ مولکولی ساختار گرانول‌های نشاسته و ماتریکس پروتئینی کاملاً تغییر یافته است.

ژلاتینه کردن نشاسته باعث افزایش تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه می‌شود به ویژه زمانی که با عملیات تخریبی مکانیکی مثل ورقه کردن یا اکستروژن کردن همراه باشد. هولم و همکاران (هولم و همکاران ۱۹۸۸) همبستگی ۹۶ درصد بین ژلاتینه شدن و نرخ هضم نشاسته پیدا کردند. فرآوری‌هایی مانند حرارت‌دهی به همراه بخار به دانه‌های غلات، منجر به تغییرات فیزیکی و شیمیایی گرانول‌های نشاسته شده و با شکستن باندهای هیدروژنی و جذب آب باعث ژلاتینه شدن آنها شده و قابلیت دسترس‌پذیری آنها برای تجزیه و تخمیر توسط میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تیمار پرک با بخار باعث ژلاتیناسیون بیشتری در گرانول‌های نشاسته شده است چرا که اندازه‌ی گرانول‌ها نسبت به تیمار کنترل و سایر تیمارها افزایش بیشتری داشته است که این با نتایج آزمایشات هضمی که میزان تجزیه‌پذیری بیشتری را برای تیمار پرک با بخار نشان داده‌اند، مطابقت دارد.

### منابع مورد استفاده

- Aharoni Y, Gilbad N and Silanikov N, 1998. Models of suppressive effect of tannin on ruminal degradation by compartmental models. *Animal Feed Science Technology* 71:251-267.
- Alexandrov AN, 1998. Effect of ruminal exposure and subsequent microbial contamination on dry matter and protein degradability of various feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 71:99-107.
- Anonymous, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Research Council. Washington, DC. U.S.A.
- AOAC, 2002. Official Methods of Analysis. 52th Ed. AOAC International, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Azarfar A, 1996. The use of grain sorghum in diets of feedlot ghezel sheeps, MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz (In Persian).
- Bdour MA, Al-Rabadi GJ, Al-Ameiri NS, Mahadeen A and Aaludatt MH, 2014. Microscopic Analysis of Extruded and Pelleted Barley and Sorghum Grains. *Jordan Journal Biological Science* 7:227-231.
- Belton PS, Delgado I, Halford NG and Shewry PR, 2006. Kafirin structure and functionality. *Journal of Cereal Science* 44:272-286.
- Benmoussa M, Suhendra B, Aboubacar A and Hamaker BR, 2006. Distinctive sorghum starch granule morphologies appear to improve raw starch digestibility. *Starch* 58:92-99.
- Ciacchi C, Maiuri L, Caporaso N, Del C, Giudice L, Massardo DR, Pontieri Pdi, Fonzo N, Bean, SR, Ioerger B and Londei M, 2007. Celiac disease: *In vitro* and *In vivo* safety and palatability of wheat – free sorghum food products. *Clinical Nutrition* 26:799-805.
- Cone JW, Kamman AA, Van Gelder AH and Hindle VA, 2002. Ruminal escape protein in concentrate ingredients determined with the nylon bag and enzymatic techniques. *Animal Feed Science and Technology* 97:247-254.
- Dendy DAV, 1995. Sorghum and millets: production and importance. In: Dendy editor. Sorghum and millets: chemistry and technology. St. Paul, Minn. American Association of Cereal Chemists.

- Duodu KG, Nunes A, Delgadillo I, Parker ML, Mills ENC, Belton PS and Taylor JRN, 2002. Effect of grain structure and cooking on sorghum and maize in vitro protein digestibility. *Journal of Cereal Science* 35:161–174.
- Ghaderi M, Alami M, Sadeghi A, ghorbani M and Azizi MH, 2011. Chemical composition and influence of some thermal processing methods on phenolic compounds amount in two types of Iranian acorn varieties. *Journal of Food Research* 21:421-431.
- Goodhew PJ, Humphreys J and Beanland R, 2000. *Electron microscopy and analysis*. CRC
- Herrera-Saldana R, Huber JT and Poore MH, 1990. Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. *Journal of Dairy Science* 73:2386-2393.
- Hamaker BR, Kirleis AW, Butler LG, Axtell JD and Mertz ET, 1987. Improving the in vitro protein digestibility of sorghum with reducing agents. *Proceedings of the National Academic Science* 84:626-628.
- Holm J, Lundquist I, Bjorck I, Eliasson AC and Asp NG, 1988. Relationship between degree of gelatinisation, digestion rate in vitro, and metabolic response in rats. *American Journal of Clinical Nutrition* 47:1010–1016.
- Knudsen KB and Munck L, 1985. Dietary fiber contents and compositions of sorghum and sorghum-based foods. *Journal of Cereal Science* 3:153-164
- Kochaki A, Khiyabani H and Sarmadnia GHH, 1987. *Producing crops*. Ferdowsi University of Mashhad.
- Lewandowicz G, Jankowski T and Fornal J, 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. *Carbohydrate Polymers* 42:193-199.
- Makkar HPS and Becker K, 1996. A bioassay for tannins. In: *Polyphenols Communications*, vol. 96. *Proceedings of the XVIIIth International Conference on Polyphenols*, Bordeaux pp:197–198.
- Mertz ET, Hassen MM, Cairns-Whitern C, Kirleis AW, Tu L and Axtell JD, 1984. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. *Proceedings of the National Academic Science* 81:1-2.
- Nickhah A, 2003. Influence of processing methods on digestibility of sorghum grain and broomcorn in the rumen. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources* 7:169-177.
- Parnian F, 2008. The effects of microwave radiation on digestibility and degradability of grain sorghum by in vivo, in vitro and in situ methods, MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz (In Persian).
- Paya H, 2007. Determination of digestibility and degradability of some feedstuffs by in vitro, in situ and in vivo methods, MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz (In Persian).
- Preston RL, 1998. Changes in sorghum and corn grains during steps in steam-flaking process. *Journal of Dairy Science* 81:317-321.
- Rooney LW and Pflugfelder RL, 1986. Factor affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science* 63:1607-1623.
- Shirmohammadi SH, 2014. Influence of steam flaking and roasting on nano-molecular basis and digestibility of barley grain, Mac Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz (In Persian).
- Showravg P, Jalilian S, Fatahnia F, Sadeghi AA and Mehrabi AA, 2017. The effects of irradiation from gamma, electron beam, microwave and infrared sources on ruminal degradability and in vitro digestibility of soybean meal. *Journal of Animal Science researches (Agriculture Science)* 27:217-230 (In Persian).
- Stokes D, 2008. Principles and practice of variable pressure. In: *Environmental scanning electron microscopy (VP-ESEM)*. John Wiley & Sons. USA.
- Svihus B, Uhlen AK and Harstad OM, 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology* 122:303-320.
- Taghizadeh A and Janmohammadi H, 2012. Characterization of degradation and fermentation of food by in situ and in vitro methods. *Asian Journal of Animal Science*, 22: 1-16.
- Taghizadeh A and Nemati Z, 2008. Degradability characteristics of treated and untreated barley grain using in situ technique. *American Journal of Animal and Veterinary Science* 3:53-56.
- Theuer CB, Huber JT, Delgado Elorduy A and Wanderley R, 1999. Invited review: Summary of steam flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82:1950-1959.

- Van Soest PJ, 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. Ithaca, NY. USA.
- Vanzant ES, Cochran RC and Titgemeyer EC, 1998. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science* 76:2717-2729
- Woods VB, Moloney AP and O'Mara FP, 2003. The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals: Part II: In situ ruminal degradability of crude protein. *Animal Feed Science and Technology* 110:131-143.
- Wong JH, Lau T, Cai N, Singh J, Pedersen JF, Vensel WH, Hurkman WJ, Wilson JD, Lemaux PG and Buchanan BB, 2009. Digestibility protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. *Journal of Cereal Science* 49:73–82.

## Influence of processing on digestibility and nano-molecular basis of sorghum grain

L Allahgoli<sup>1</sup>, A Taghizadeh<sup>2\*</sup>, A Hosseinkhani<sup>2</sup>, H Paya<sup>2</sup> and Y Mehmanna<sup>3</sup>

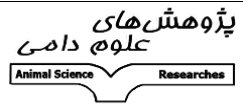

Received: June 14, 2017 Accepted: May 1, 2018

<sup>1</sup>MSc Former Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Professor, Associate Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Animal Science, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

\*Corresponding Author: ataghius@yahoo.com

 <p>پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Researches</p>	<p>Journal of Animal Science/vol.30 No.1/ 2020/pp 1-15 <a href="https://animalscience.tabrizu.ac.ir">https://animalscience.tabrizu.ac.ir</a></p>	
<p>© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. This is an open access article under the CC BY NC license (<a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/</a>) DOI: 10.22034/AS.2020.10999</p>		

**Introduction:** Processing have an impact on nano-molecular basis, which increase digestion of starch. Heat processing destroys the crystalline nature of a starch granule making the surface of the starch more available to digestive solvents and enzymes as well as to the rumen microbes (Bdour et al. 2014). The *in situ* nylon bag technique is widely used to characterize the disappearance of feeds from rumen (woods et al. 2002). *In situ* incubation is a principle method for the estimation of ruminal degradability of dry matter and crude protein, because it is simple, does not require specific equipment and could be applied in every research laboratory (Alexandrow 1998). In many protein evaluation systems for ruminants, the nylon bag technique is the standard method used for calculating the amount of protein escaping rumen fermentation (Cone et al. 2002). A scanning electron microscope (SEM) is a type of electron microscope that produces images of a sample by scanning the surface with a focused beam of electrons. The electrons interact with atoms in the sample, producing various signals that contain information about the sample's surface topography and composition. Accordingly, scanning electron microscope (SEM) can achieve resolution better than 1 nanometer (Stokes 2008). This experiment was conducted to investigate the digestibility of dry matter and crude protein of sorghum grain in the rumen and therefore, investigate changes in nano-molecular basis.

**Material and methods:** In this study sorghum grain was processed using methods of steam flaking, roasting and microwaving. Feed samples were dried in an oven at 90°C for 48 h and the dry matter (DM) content was calculated. Then, ground samples were analyzed for ash (AOAC, 2005). Determinations of N were conducted using the Kjeldahl method in an automated Kjelfoss apparatus (Foss Electric, Copenhagen, Denmark). Neutral-detergent fiber (NDF) and acid-detergent fiber (ADF) were determined by the detergent procedures of Van Soest et al. (1991). Acid-detergent insoluble nitrogen (ADIN) was determined as nitrogen in acid-detergent residue. Ether extract (EE) was determined by extracting the sample with ether (AOAC 2005). Degradation characteristics of feeds were calculated after the incubation of 5 g samples of row, steam flaked, roasted, and microwaved sorghum grains (ground at 2 mm) in nylon bags. The bag size was 6×12 cm. The bags were incubated in the rumen of two cannulated sheep for 0, 2, 4, 8, 12, 24, 36, and 48 h. Retrieved bags were washed under running water until the water was clear. Immediately after removal from the rumen, the bags frozen at -18 °C. At the end of the collections, they were unfrozen and washed

together with the zero time bags (not incubated in the rumen) for 20 min and then dried at 80°C for 48 h. The residues were weighted and submitted for analysis. For each bag, the residue was analyzed for DM and nitrogen. Feed residues were recovered from each bag and stored for Kjeldahl nitrogen. The model of  $p=a+b(1-e^{-ct})$  was used for the determination of degradation characteristics, in which  $p$  is the actual degradation of CP and DM after  $t$ ,  $a$  is the intercept of the degradation curve at time zero,  $b$  is the potential degradability of the component of the slowly soluble CP and DM, which will in time be degraded,  $c$  represents the constant degradability rate of  $b$  at time  $t$ , and  $t$  is the incubation time. In order to provide SEM images, scanning electron microscopy (Field Emission Tescan mirca 3) was used in the central laboratory of University of Tabriz. The values of  $a$  (% solubility) and  $b$  (potentially degradable fraction) and deviation of error were determined. Data obtained from *in situ* study was subjected to analysis of variance as a completely randomized design by the GLM procedure of SAS software and treatment means were compared by the Duncan test.

**Results and discussion:** *In situ* results showed that steam flaking of sorghum grain have the most digestibility compared with other treatments, but it was not significant. Steam flaking of sorghum grain reduced nutritional restriction (Teurer et al. 1999) and in many studies has been showed decreases in tannin and phenolic compounds. Microwave processing reduced digestibility; however, it was not significant. Lewandowicz et al. (2002) reported that microwaving reduced starch solubility, because high heat treatment in microwaved starch can create resistance and continual basis in granular structures. Processing significantly decreased crude protein digestibility in all three treatments ( $P<0.05$ ) that previous studies have confirmed these results (Parnian 2008, Nickhah et al. 2003, Hamaker 1987).

Thermal process reduces protein digestibility in the rumen via denaturing the protein and formation of protein-protein and protein-carbohydrate bonds (Anonymous 2001). Dandy et al. (1995) also concluded wet sorghum baking reduced digestibility. Preston (1998) reported that processing and steaming of corn and sorghum grains reduced solubility of proteins. Also, access to lysine amino acids reduced by flakes density reduces. Scanning electron micrographs in all three treatments showed that processing destructed protein matrix and increased enzymes access to starch granules and increased their digestibility. In steam flaking treatment, granule surfaces were attacked by microorganisms and protein matrix destructed more than other treatments. Also, terminal processing in all three treatments gelatinated the starch and increased average of scale of granules. In addition to the importance of starch digestion, the increase in viscosity during gelatinization may also positively affect physical quality of processed feeds through increasing in binding between feed particles. Svihus et al. (2004) reported that pelleting can improve feed integrity by increasing binding between particles. Gelatinization of starch greatly increases  $\alpha$ -amylase accessibility to amylose and amylopectin glucose chains and so, increases the rate of starch digestion. The number of created orifices is explanatory for degradability values. Benmoussa et al. (2006) concluded that number and scale of granules have positive effects on digestive properties. In this study, despite of smaller number and smaller size of orifices in steam flaking treatment than other treatments (against further degradability of steam flaking than others treatments), SEM images of incubated steam flaking showed that granules were processed completely. Therefore, lots of uniformity and melting can be justified as its high degradability.

**Conclusion:** Electron microscopy images showed that the number and size of holes (nano-sized) per unit area of treatments were highly correlated with the degree of degradability. Steam flaked treatment has caused more gelatinization in starch granules as the size of the granules has increased more than the control treatment and other treatments. Steam flake processing shows better degradability properties than other treatments and provides higher amounts of nutrients to microorganisms.

**Key words:** Degradability, Nylon bags, Scanning electron microscopic, Thermal processing